

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

No. 5

(11)Publication number : 10-093335

(43)Date of publication of application : 10.04.1998

(51)Int.Cl.

H01Q 21/20  
H01Q 3/26

(21)Application number : 09-125382

(71)Applicant : BOEING CO:THE

(22)Date of filing : 15.05.1997

(72)Inventor : UNDERBRINK JAMES R

(30)Priority

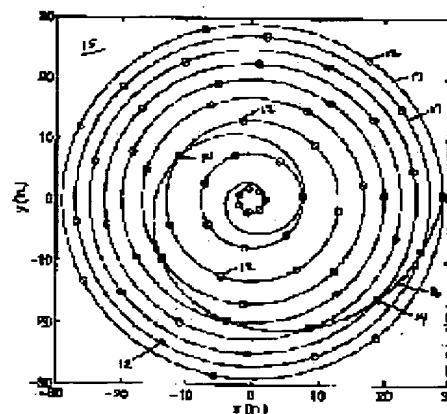
Priority number : 96 652629 Priority date : 17.05.1996 Priority country : US

## (54) ZERO REDUNDANT PLANAR ARRAY WITH CIRCULAR SYMMETRY OVER BROAD FREQUENCY RANGE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To design the planar array where substantially no grating lobe is in existence over a wide frequency range by arranging memberships of a group around the origin at uniform angular intervals and providing an odd number of memberships to each group on a spiral line.

SOLUTION: In this planar array design 15, array elements 12 are shown in rounds and an earmark is given to each partial sets of elements 14 on a logarithmic spiral line 16 to emphasize their locations. Preferably, (M-1) sets of elements in existence at an outermost points with respect to the spiral line including M-sets of elements which are samples with an equal torus area are placed so as to be matched with a geometrical diametrical center of the torus areas with the equal area on concentric circles. The M-th element is placed independently on a circuit with a radius smaller than a radius on an innermost circle of the (M-1) sets of the elements. The circular symmetry is attained by generating a circular array consisting of N-sets of elements 17 positioned at equal intervals from each spiral line-like element 14, respectively. If the number of the elements of each circular array is an odd number, the array has zero redundancy at spatial sampling intervals.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

18.02.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-93335

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月10日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 Q 21/20  
3/26

識別記号

F I

H 0 1 Q 21/20  
3/26

Z

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-125382

(22) 出願日 平成9年(1997) 5月15日

(31) 優先権主張番号 08/652629

(32) 優先日 1996年5月17日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 591009037

ザ・ボーイング・カンパニー

THE BOEING COMPANY

アメリカ合衆国、98124-2207 ワシントン州、シアトル、マイル・ストップ・13-08 ビィ・オウ・ボックス・3707 (番地なし)

(72) 発明者 ジェームズ・アール・アンダーブリンク

アメリカ合衆国、98146 ワシントン州、シアトル、エス・ダブリュ・ワンハンドレッズ・ストリート、3547

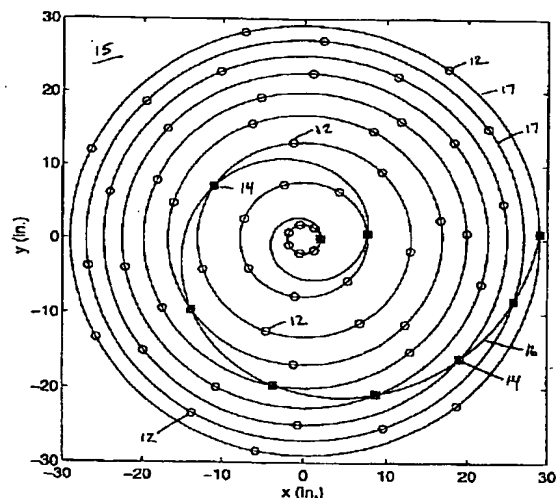
(74) 代理人 弁理士 深見 久郎 (外3名)

(54) 【発明の名称】 広周波数範囲の円形対称のゼロ冗長性の平面アレイ

(57) 【要約】

【課題】 信号源位置探索、信号源結像、または投射ビームによる目標照明のための広周波数範囲の応用を有する、ある種類の平面アレイを提供する。

【解決手段】 この非冗長アレイは円形対称であり、複数の検出および/または送信素子からなり、これらは広周波数範囲において実質的にグレーティングローブをなくすよう配置されている。素子から受信されるまたは素子へ送信される信号はアレイのビームを制御するよう適切に整相される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 同一の対数渦巻線の族に沿ってさまざまな半径において間隔をあけて配置されている複数の素子を含み、族の成員は原点回りに均一な角度間隔において配置されており、渦巻線の前記族には奇数の成員が存在する、広周波数範囲の円形対称のゼロ冗長性の平面アレイ。

【請求項2】 別個の受信路を渡って前記アレイ素子の各々から信号エネルギーを受信するための手段と組合された、請求項1に記載の平面アレイ。

【請求項3】 前記受信路の各々と結合された手段と組合され、前記信号エネルギーを処理して前記アレイ素子の位相および振幅を制御し、よって、前記アレイの主ビームを制御する、請求項2に記載の組合された平面アレイ。

【請求項4】 別個の送信路を渡って前記アレイ素子の各々に信号エネルギーを与えるための手段と組合された請求項1に記載の平面アレイ。

【請求項5】 前記送信路の各々の結合された手段と組合され、前記信号エネルギーを処理し前記アレイ素子の位相および振幅を制御し、よって前記アレイの主ビームを制御する、請求項4に記載の組合された平面アレイ。

【請求項6】 前記アレイ素子は、前記対数渦巻線の各々に沿って、等面積環状領域の幾何学的径中心を形成する同心円上および、半径が独立して特定される最も内側の同心円上に位置づけられる、請求項3または5に記載の組合された平面アレイ。

【請求項7】 前記アレイ素子は、前記対数渦巻線の各々に沿って、内側および外側の半径仕様の間に等しい径方向の増分で位置づけられている、請求項3または5に記載の組合された平面アレイ。

【請求項8】 前記アレイ素子は、前記対数渦巻線の各々に沿って、外側および内側の半径仕様の間に対数的に増加していく径方向の増分で位置づけられており、前記対数渦巻線に沿った前記素子の間の径方向の増分は、前記渦巻線を最も外側の素子から最も内側の素子へとたどっていくにつれて増加する、請求項3または5に記載の組合された平面アレイ。

【請求項9】 前記アレイ素子は、前記対数渦巻線の各々に沿って、内側および外側の半径仕様の間において対数的に増加していく径方向の増分で位置づけられており、前記対数渦巻線に沿った前記素子間の径方向の増分は、前記渦巻線を最も内側から最も外側の素子へとたどっていくにつれて増加する、請求項3または5に記載の組合された平面アレイ。

【請求項10】 前記アレイ素子は受動音響センサ（たとえば可変容量マイクロホン）であり、前記信号エネルギーを受信し前記信号エネルギーを処理し前記アレイ素子の位相および振幅を制御する前記手段はNチャネルの信号調節装置であり、前置増幅器と、伝送線と、各チャネル

に対する信号調節およびサンプルホールドアナログデジタル変換能力を含む入力モジュールとを含み、すべての入力モジュールは共通システムバスに結合され、共通システムバスは、ビーム形成および輪郭プロットの形での結果としての雑音源マップ生成のためのデータ処理装置に接続されている、請求項5に記載の組合された平面アレイ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の分野】この発明は、信号源の位置探索、信号源の結像、または投射ビームによる目標照明のための広周波数範囲の応用を有する平面アレイに関する。平面アレイ設計に取組もうとするこれまでの試みは、アレイ素子の数が限定されているので、単一周波数の応用に焦点を当て、円形対称の問題には取組まず、および／または遠距離応用のためのものであって、したがって信号源マッピングまたは投射ビームによる目標照明のための近距離、円形対称、かつ広帯域の応用には包括的に取組んでいない。

【0002】アレイ素子が正方形、三角形、または六角形の格子などの周期的配置に位置づけられている規則的アレイが先行技術において知られている。これらの配置においては、アレイのパターンが指向方向以外に複数の主ローブを有すること、つまり、空間エイリアシングまたはグレーティングローブと通常呼ばれる現象を避けるために、隣接する素子は互いに半波長以内の間隔をあけて配置される必要がある。この半波長という要件は広周波数範囲の応用において必要とされるアレイ素子の数という点から見ると法外なコストになりかねない。なぜならば意図される用途のための最低周波数は（適切なアレイの分解能を達成するため）アレイの開口寸法をより大きくするよう作用し、一方最高の周波数は（空間エイリアシングを避けるため）素子の間隔をより小さくするよう作用するからである。

【0003】規則的アレイに固有のグレーティングローブの問題に取組む方法を提供するものとして先行技術において不規則的アレイが知られている。不規則的アレイは素子の位置づけにおける周期性を排除するからである。先行技術においては不規則的アレイの一形態としてランダムアレイが知られている。ランダムアレイは最悪の場合の副ローブを予測可能に制御する能力に限界がある。アレイの素子の位置づけが制御できる場合には、素子の位置づけを決定する上で不規則な間隔を保証しかつ最悪の場合の副ローブのより予測可能な制御を可能にするようなあるアルゴリズムを用いることができる。先行技術は不規則に間隔において配置された線形アレイの多くの例を含むが、その多くは非冗長である。すなわち、いずれの所与の素子の組の間隔も繰返されない。この非冗長性が、グレーティングローブを制御するという点でアレイの設計にある程度の最適度を提供する。

【0004】不規則的平面アレイを設計するための先行技術は主としてその場かぎりのものである。先行技術で存在しているのは、素子の数が比較的少数であるかまたは円周まわりなどの素子の簡単な配列のような、簡単な非冗長平面アレイの2、3の例のみにように思われる。先行技術には、非冗長および円形対称を確実にするような制御された態様で、(単に円周上に置くのではなく)アレイの開口全体に、任意の数の素子を配置する位置づけのための非冗長平面アレイ設計の技術が欠けているように思われる。

【0005】この発明の目的の1つは、利用可能な素子の数が、信号源マッピングまたは投射ビームにおいてグレーティングローブの混入を避けるために典型的に必要なとされる2分の1波長の基準を満たす素子間の間隔を備えた規則的(すなわち素子が等間隔に位置づけられている)アレイを構築するために必要とされる数よりも実質的に少ない場合であっても、広周波数範囲にわたって実質的にグレーティングローブが存在しない平面アレイ設計を提供することである。

【0006】この発明のもう1つの目的は、円形対称性を備え、よって信号源マッピングの分解能または投射ビーム幅が実質的にアレイの寸法(すなわちアジマス角)に依存しない、平面アレイ設計を提供することである。

【0007】この発明のさらなる目的は、アレイが非冗長であるという意味において限られた数のアレイの素子を最適に利用する平面アレイ設計を提供することである。

【0008】この発明のまたさらなる目的は、アレイの設計において空間密度を低減する柔軟性を提供し、よってアレイ設計においてアレイのビーム幅と副ローブレベルとの間のトレードオフを可能にすることである。

【0009】この発明のまたさらなる目的は、空間的サンプリング間隔において円形対称および非冗長性を保証するような態様において任意の数の素子を任意の直径の円形平面開口に分布するための一般的方法を提供することである。

【0010】

【発明の概要】検出素子または送信素子(たとえばマイクロホンまたはアンテナ)が同一の対数渦巻線の組に沿ってさまざまな弧長および半径において間隔をおいて配置されており、渦巻線の組の要素は原点回りに均一角度間隔をおいて配置されており、素子が均一に分布されている(たとえば正方形または長方形の格子の)アレイまたはランダムアレイよりも広周波数範囲にわたって最悪の場合の副ローブがより低く、グレーティングローブの減少がより良い、平面アレイである。このアレイは円形対称であり、渦巻線の数が奇数である場合にはアレイは非冗長である。好ましい渦巻線状の仕様の実施例は、等面積の環状領域の径方向の幾何学的な中心を形成する同心円上にアレイの素子を位置づけることと、使用される

最も高い周波数におけるアレイの性能を向上させるように、半径が独立して選択される最も内側の同心円に位置づけることとを組合せている。この結果は、広波長帯域、たとえば10対1の比率にわたって適用でき、整相音響マイクロホンまたはスピーカアレイもしくは整相電磁アンテナアレイにおいて有用である。アレイ素子の数が少ない場合には、ランダムアレイよりも優れている。別の渦巻線状の仕様の実施例はアレイの設計の柔軟性およびアレイのビーム幅と副ローブレベルとの間のアレイの性能のトレードオフとを可能にするアレイ間隔の密度の低減の代替案を提供する。

【0011】この発明の上述のおよび他の目的ならびに特徴は添付した図を参照しつつ好ましい実施例とともに以下の説明から明らかになるであろう。図においては同様の部分は同様の参照番号によって示される。

【0012】

【詳細な説明】図1に示されるこの平面アレイ設計15は円で表わされるアレイの素子12を示す。素子14の部分集合には、対数渦巻線16に沿ってそれが配置されていることを強調するため印を付してある。強調されている素子14はいくつかの方法のいずれによって渦巻線に沿って位置づけてもよい。好ましい一実施例は、図1に示されるように、等環状面積のサンプリングであって、ここでM個の素子を含む渦巻線の最も外側のM-1個の素子は同心の等面積の環状領域の幾何学的径中心と一致するよう位置づけられている。M番目の素子は前記M-1個の素子の最も内側の半径よりも小さいある半径に独立して位置づけられ、意図される用途における最も高い周波数でのアレイの性能を向上させる。円形対称は、図1に示すように等間隔で位置づけられた素子17のN個の素子の円形アレイを渦巻線状の素子14の各々から正確に作り出すことによって達成される。もし円形アレイの素子の数が奇数ならば、結果としてできるアレイは空間的サンプリング間隔においてゼロ冗長性を有する。これは図2に示すコアレイによって示される。図2は図1のアレイ開口における素子12の間のすべてのベクトル間隔の集合を示している。コアレイにおける各点18はアレイ内の2つの素子の位置の間のベクトル差を示す。この平面アレイ設計15においてはこれらのベクトルの差はいずれも繰返されない。

【0013】渦巻線状の素子の間隔配置の別の方法は図3および図4に示される。図3においては、渦巻線状の素子14は内側から外側の半径方向の仕様の間に渦巻線16に沿って等しい径方向の増分で間隔をおいて配置されている。図4においては渦巻線状の素子14は外側から内側の半径方向の仕様の間に渦巻線16に沿って対数的に増加していく径方向の増分で間隔をおいて位置づけられている(すなわち、渦巻線状の素子間の径方向の増分は最も外側から最も内側の素子に向けて渦巻線をたどっていくにつれて増加している)。これは内向きの対数

半径間隔と呼ばれる。別の方法は、外向きの対数半径間隔と呼ばれ、渦巻線状の素子を内側から外側の半径方向の仕様の間に渦巻線に沿って対数的に増加していく径方向の増分で位置づける。これらのおよび他の渦巻線状に素子を間隔をあけて配置する方法はアレイの主ローブの幅（すなわちアレイの分解能）と副ローブのレベルとの間のトレードオフを示す。図3のアレイ18のように円周近くに素子が集中しているアレイはより狭い主ローブを有し、それに対応して平均的により高い副ローブレベルを有する。図4のアレイ19のように中心近くに素子が集中しているアレイはより広い主ローブを有し、それに対応して平均的により低い副ローブレベルを有する。図1、3、および4ならびに外向きの対数半径間隔を含む実施例はこの発明による径方向間隔構成の単なる典型にすぎない。

【0014】このアレイの一般的な設計のパラメータは以下のとおりである。(1)対数渦巻線の角度、(2)内側半径、(3)外側半径、(4)渦巻線に対する素子の数、(5)1つの円あたりの要素の数（すなわち渦巻線の数）、および(6)渦巻線状に素子を間隔をおいて配置する方法。これらのパラメータによって、規則的またはランダムアレイによって達成できるものと比べ、広周波数範囲にわたって特に最悪の場合の副ローブ特性の低い円形対称で非冗長な平面アレイ（1つの円に対する要素の数が奇数だとした）の広範な種類が形成される。

【0015】図1の実施例に対するアレイパターンは図5において1キロヘルツの場合について示され、図6において5キロヘルツの場合について示され、図7において10キロヘルツの場合について示され、アレイは54インチオフ・ブロードサイドの点に焦点を当て、広周波数範囲および広走査領域にわたってグレーティングローブがないことを示し、かつアレイの円形対称特性を示している。これらの典型的なアレイのパターンは1125フィート/秒の伝播速度を用いた音波の大気伝播に対応する周波数に対して決定されている。図1の実施例についての最悪の場合の副ローブ特性は図8において1キロヘルツについて、図9において5キロヘルツについて、そして図10において10キロヘルツについて示され、アレイが54インチオフ・ブロードサイドの点に焦点を当てた場合の $-90^\circ$ から $+90^\circ$ の仰角についての広周波数範囲にわたっての強いグレーティングローブ抑圧を示している。図8、9、および10は91の各仰角でアレイパターンを切る45アジマス角から最大値をとることによって形成されるアレイパターンの包絡線を示している。

【0016】図11は図1のアレイの音響応用のための装置、信号調節、データ獲得、信号処理、および表示装置のためのブロック図を示す。N個のチャンネルのアレイ設計1はマイクロホンの振動板の中心の互いに関しての位置がアレイ設計仕様（すなわち空間座標）に一致す

るよう、適切な空間位置にN個のマイクロホンが位置づけられることによって実施される。N個のマイクロホン装置は、マイクロホンボタン（アレイの素子）12、前置増幅器3、および伝送線4を含み、N個の対応する入力モジュール5に繋がっている。各入力チャンネルはプログラム可能な利得6、アナログ・アンチ・エイリアス・フィルタ7、およびサンプルホールド・アナログデジタル変換8を含む。入力チャンネルは共通のトリガバス9を共有しよってサンプルおよびホールドが同時である。共通システムバス10は入力モジュールをホストし、同時に獲得された時系列データをビーム形成器11に与える。ビーム形成器は、いくつかの従来の時間および/または周波数ドメインビーム形成プロセスの1つまたは2つ以上であってもよく、これはグラフィック表示装置13を含む読出手段にデータを提供する。

【0017】例として、周波数ドメインビーム形成器11は図1および図11のNマイクロホン素子12および14の平面アレイからの信号処理を提供し、以下のステップを行なう。

【0018】1. 各チャンネルに対しフーリエ変換して狭帯域信号を生成する。

2. 狭帯域信号の対ごとの積をとって (pairwise product)、これを時間で積分し $N \times N$ の相関マトリクスを与える。

【0019】3. 潜在的な到着方向（平面波ビーム形成の場合）または信号源位置探索（球面ビーム形成の場合）の方向の各々に対しN次元の複素数ステアリングベクトルをみつける。

【0020】4. 相関マトリクスをステアリングベクトルで乗算し到着または信号源位置探索の各方向についての概算される信号源パワーを生成する。

【0021】そしてグラフィック装置13は、概算された信号源分布の輪郭プロットを示す。

【0022】ある特定の装置が説明されてきたが、この説明は、例としてのみなされたものであって、目的および添付された請求項において示されるこの発明の範囲に何ら制限を加えるものではないことが理解されねばならない。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例により、素子が等環状領域に間隔をおいて配置された複数の対数渦巻線の形のアレイからなる円形平面アレイの図であり、渦巻線の1つのアレイ素子が強調されている図である。

【図2】この発明の実施例によるアレイの開口における素子間のすべてのベクトル間隔の組を示すコアレイの図である。

【図3】この発明の実施例により素子が等しい径方向増分において間隔をおいて配置された多数の対数渦巻線の形状のアレイからなる円形平面アレイの図であり、渦巻線の1つにおける素子が強調されている図である。

【図4】この発明の実施例により素子が内向きの対数径方向増分で間隔をおいて配置された多数の対数渦巻線の形状のアレイからなる円形平面アレイの図であり、渦巻線の1つにおける素子が強調されている図である。

【図5】図1のアレイを54インチオフ・ブロードサイドの点に焦点をおいて使用した単一周波数動作のための典型的なアレイパターンの図である。

【図6】図1のアレイを5キロヘルツにおいて54インチオフ・ブロードサイドの点に焦点をおいて使用した場合の単一周波数動作における典型的なアレイのパターンの図である。

【図7】図1のアレイを10キロヘルツにおいて54インチオフ・ブロードサイドの点に焦点をおいて使用した場合の単一周波数動作における典型的なアレイのパターンの図である。

【図8】図1のアレイを1キロヘルツにおいて54インチオフ・ブロードサイドの点に焦点をおいて使用した場

合の単一周波数動作における最悪の場合の副ローブ特性のプロット図である。

【図9】図1のアレイを5キロヘルツにおいて54インチオフ・ブロードサイドの点に焦点をおいて使用した場合の単一周波数動作における最悪の場合の副ローブ特性を示すプロット図である。

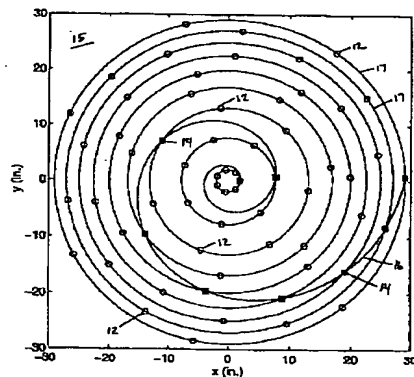
【図10】図1のアレイを10キロヘルツにおいて54インチオフ・ブロードサイドの点に焦点をおいて使用した場合の単一周波数動作における最悪の場合の副ローブ特性を示すプロット図である。

【図11】雑音源位置マッピングのための図1の平面アレイからの、マイクロホンの入力、信号調節、信号処理、および表示を示すブロック図である。

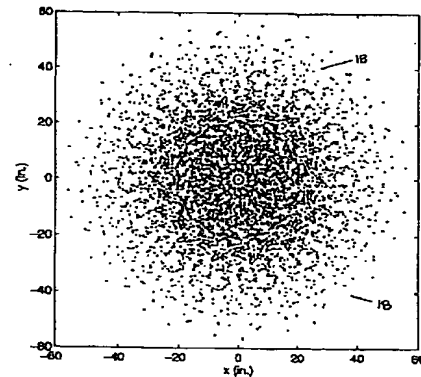
【符号の説明】

- 12 アレイ素子
- 15 平面アレイ設計
- 16 対数渦巻線

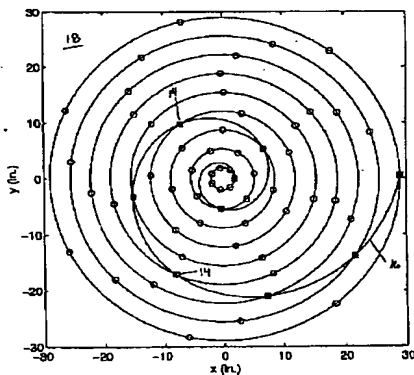
【図1】



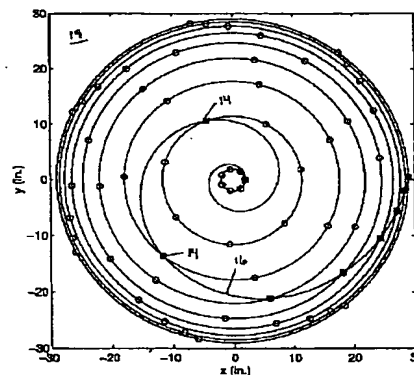
【図2】



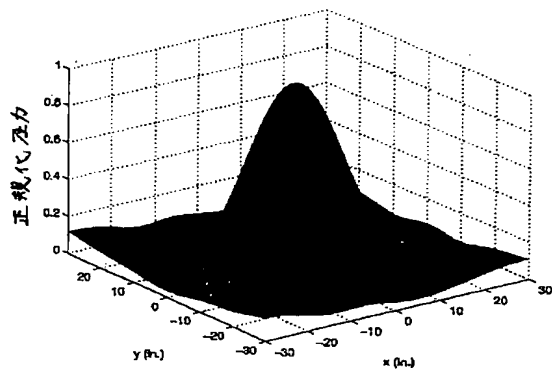
【図3】



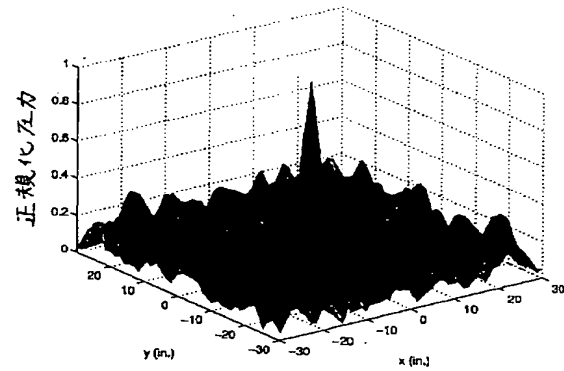
【図4】



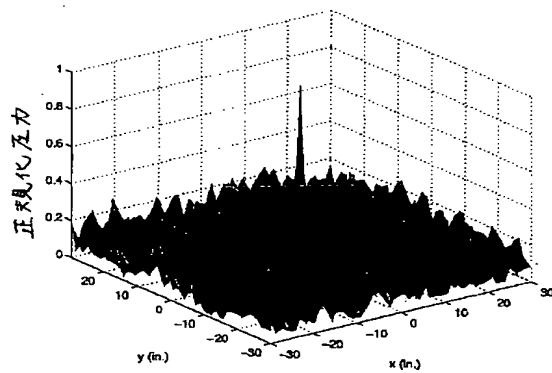
【図5】



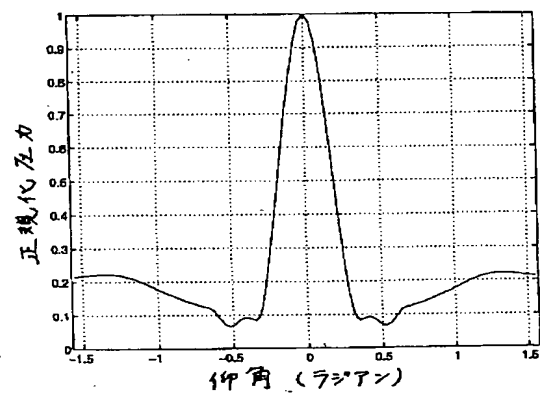
【図6】



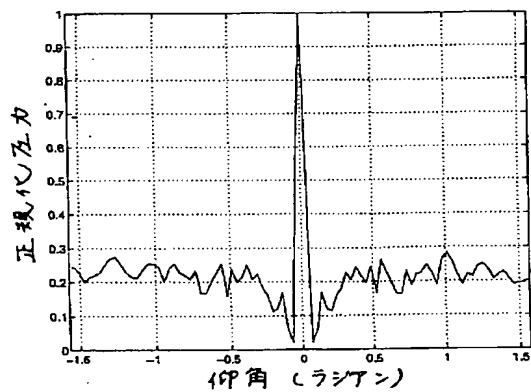
【図7】



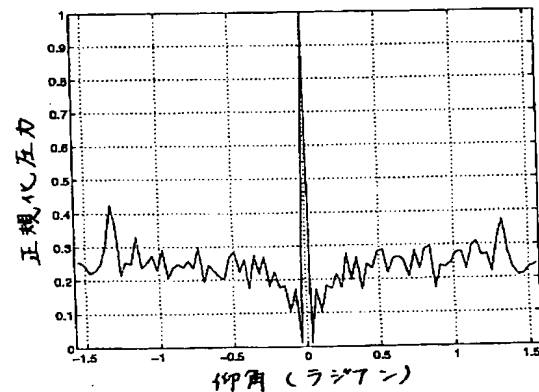
【図8】



【図9】



【図10】



【図11】

